

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-55631

(43)公開日 平成5年(1993)3月5日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00	C	8934-4M		
21/203	Z	8422-4M		
21/86		7454-4M		

審査請求 未請求 請求項の数2(全 8 頁)

(21)出願番号	特願平4-20923	(71)出願人	000000033 旭化成工業株式会社 大阪府大阪市北区堂島浜1丁目2番6号
(22)出願日	平成4年(1992)2月6日	(72)発明者	今井 秀秋 静岡県富士市鮫島2番地の1 旭化成工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平3-17520	(72)発明者	平井 匡彦 静岡県富士市鮫島2番地の1 旭化成工業株式会社内
(32)優先日	平3(1991)2月8日	(72)発明者	宮田 邦夫 静岡県富士市鮫島2番地の1 旭化成工業株式会社内
(33)優先権主張国	日本(JP)	(74)代理人	弁理士 渡辺 一雄

(54)【発明の名称】 半導体積層薄膜およびその製造方法

(57)【要約】

【目的】 電子素子として好適な窒化ガリウム系半導体積層薄膜を得る。

【構成】 CBE法によってオフ角が0.8度以下のサファイア基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜を積層する構造の半導体積層薄膜とその製造方法。

【効果】 オフ角が0.8度以下のサファイア基板上に、表面が平坦で結晶性の良好な窒化ガリウム系半導体薄膜が積層した構造の半導体積層薄膜を得ることができる。発光素子、受光素子や高温で動作するトランジスタ用の半導体薄膜積層体として好適なものである。

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 オフ角0.8度以下のサファイアR面基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜が積層されてなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体積層薄膜。

【請求項2】 ケミカル ビーム エピタキシー法において、窒素を含有するガス状化合物を供給するガスソースと、III族元素を供給する固体ソースを有する結晶成長装置を用い、オフ角0.8度以下のサファイアR面基板上に窒素を含有するガス状化合物とIII族元素を供給することにより、上記基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜を形成することを特徴とする半導体積層薄膜の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、特にディスプレイ、光通信やOA機器の光源等に最適な紫外域～青色発光ダイオードやレーザーダイオード、あるいは光センサーやトランジスタ等に用いることができる半導体積層薄膜およびその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】バンドギャップの大きい半導体素子は発光素子、受光素子や高温で使用可能なトランジスタとして期待されている。なかでも、発光素子は広い分野において表示素子や種々の光源として使用されている。しかし、紫外域～青色発光ダイオードは実用化されておらず、特に3原色を必要とするディスプレイ用として開発が急がれている。レーザーダイオードは光ディスクやコンパクトディスクの光源として、記録密度を10倍以上大きくすることができるということで期待されている。受光素子としては、紫外～青色領域のセンサーとして、あるいは光通信にも使用することができる。また、バンドギャップが大きいために耐熱性に優れ、高温でも動作可能なトランジスタを作ることができると期待されている。

【0003】しかし、一般的に広いバンドギャップを有する化合物半導体薄膜の作製は難しく、とくに発光素子に使用可能な薄膜の製造方法はまだ確立されているとは言えない。例えば、青色発光素子として有望視されている窒化ガリウム(GaN)は、これまではサファイアC面上にMOCVD法、あるいはVPE法により成膜されている[Journal of Applied Physics, 56 P. 2367-2368(1984)]が、良好な結晶を得るためには反応温度を高くする必要があり、製造が著しく困難であった。さらに、高温での成長であるため窒素が不足し欠陥となり、キャリア密度が極めて大きくなるので良好な半導体特性がいまだ得られていない。したがって、それを克服するためにサファイアC面上に窒化アルミニウムのバッファー層を設け、その上に比較的膜厚の大きいGaN薄膜を作製して半導体発光素子を作製している。

2

【0004】また、低温成膜を実現する試みでは、供給する窒素ガスに電子シャワーを照射して活性化する方法が行われている[Jap. J. Appl. Phys. i., 20, L545(1981)]が、この方法によっても発光にいたる良質の膜質は得られていない。また、窒素の不足を起こさないように活性の高い窒素源を用いて成膜を行うことが試みられている。活性の高い窒素を得るためにプラズマを利用する方法が行われている[J. Vac. Sci. Technol., A7 P. 701(1989)]が成功していないのが現状である。

【0005】このため、良質の窒化ガリウム系半導体積層薄膜を得ることは困難であった。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、この問題点を解決して良好な特性を有する半導体積層構造およびその製造方法を提供しようとするものである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは前記問題点を解決するため鋭意研究を重ねた結果、特定の基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜を設けることにより優れた特性の半導体素子を得ることができるようになったものである。すなわち、本発明はオフ角0.8度以下のサファイアR面基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜が積層されてなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体積層薄膜、およびCBE法(ケミカル ビーム エピタキシー法)において、窒素を含有するガス状化合物を供給するガスソースと、III族元素を供給する固体ソースを有する結晶成長装置を用い、オフ角0.8度以下のサファイアR面基板上に窒素を含有するガス状化合物とIII族元素を供給することにより、該基板上に窒化ガリウム系半導体薄膜を形成することを特徴とする半導体積層薄膜の製造方法である。

【0008】以下、本発明についてさらに詳細に説明する。本発明におけるオフ角0.8度以下のサファイアR面とは、単結晶サファイア( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )において[1, -1, 0, 2]面(R面)がプラスマイナス0.8度以下の精度で基板面となっている研磨表面のことである。このオフ角はCu-K $\alpha$ 線を用いるX線回折法によるX線ロックアップカーブから測定することができる。オフ角が0.8度より大きくなると平坦な表面を有する単結晶窒化ガリウム系半導体薄膜が得られなくなり、結晶性自体も悪くなってしまう。したがって、オフ角は0.8度以下であることが必要であり、好ましくは0.5度以下さらに好ましくは0.3度以下である。さらに、RHEED(反射高速電子線回折装置)によりストリークパターンが観測できる基板表面であることが好ましいものである。

【0009】本発明によれば薄い膜厚で結晶性の良好な窒化ガリウム系半導体薄膜を得ることができるため、素

子を作製するうえでドライエッチング法を使用することができ等の特長がある。窒化ガリウム系半導体薄膜全体の膜厚としては $3\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、さらに $2\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $1\mu\text{m}$ 以下にすることはより好ましいものとなる。

【0010】例えば、発光素子として用いる場合には、本発明における窒化ガリウム系半導体薄膜からなる発光層としては、 $n$ 型、 $p$ 型あるいは $i$ 型からなる単結晶窒化ガリウム系半導体からなり、たとえば $n/i$ 、 $n/p$ 、 $n/i/p$ 、 $n^+/n/p$ 、 $n^+/n/i$ 、 $n/p/p^+$ 等のような構造を有し、さらにそれぞれの層は組成の異なる単結晶窒化ガリウム系半導体薄膜を用いることも可能である。また、単結晶窒化ガリウム系半導体からなる量子井戸構造を形成せしめて、発光効率を高めたり、発光波長を制御することも可能である。

【0011】本発明でいう窒化ガリウム系半導体薄膜とは、 $\text{GaN}$ 単体、または $\text{GaN}$ を主としてその他に $\text{Al}$ 、 $\text{B}$ もしくは $\text{In}$ から選ばれる少なくとも一種の $\text{III}$ 族元素の窒化物からなる混晶化合物である。また、これら化合物に $\text{Zn}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Be}$ 、 $\text{Cd}$ 等を不純物として少量添加したものをも含む。窒化ガリウム系半導体層の2層からなる発光層を用いた構造の例としては、図8に示す $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ の他に、 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{N}$ 、 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 、 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ のような構造がある。

【0012】窒化ガリウム系半導体層の3層以上からなる発光層の構造の例としては、図12に示す $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$  ( $x \geq y$ )、図13に示す $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$  ( $x \geq y$ )、の他に $n\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}/n\text{-Al}_{1-y}\text{Ga}_y\text{N}/p\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $x \geq y$ )、 $n\text{-Ga}_{1-a}\text{In}_a\text{N}/p\text{-Ga}_{1-b}\text{In}_b\text{N}/n\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}/n\text{-Al}_{1-y}\text{Ga}_y\text{N}/p\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $x \geq y$ ,  $a \geq b$ )、 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/n\text{-Al}_{1-y}\text{Ga}_y\text{N}/p\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $x \geq y$ )、 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ などがある。しかし、とくにこれらに限定されるものではなく、上記の構造の種々の組合せを用いて、目的とする発光色の素子や多色化を行うことも可能である。

【0013】つぎに本発明の窒化ガリウム半導体積層構造の製造方法について説明する。本発明においては、薄膜製造方法として一般的に用いられているMBE法、CBE法、CVD法、MOCVD法、真空蒸着法、スパッタリング法等を用いることができる。このなかでも、原子層レベルで膜成長を制御できるMBE法やCBE法が

好ましく、さらにガスソースを用いることができるということでCBE法がさらに好ましいものである。

【0014】本発明の製造法はCBE法においては、窒素を含有するガス状化合物を供給するガスソースと、 $\text{III}$ 族元素を供給する固体ソースを有する結晶成長装置を用い、オフ角 $0.8$ 度以下のサファイア $\text{R}$ 面基板上に窒素を含有するガス状化合物と $\text{III}$ 族元素を供給することにより、該基板上に窒化ガリウム系半導体層を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法である。

【0015】ここで、ガス状化合物とは基板上に所望の化合物半導体薄膜の結晶を成長させるために該薄膜の構成元素を含み基板上に供給されるものを言う。ガス状化合物としては、アンモニア、三フッ化窒素、ヒドラジンあるいはジメチルヒドラジンを単独で、またはそれらを主体とする混合ガスを用いることができる。また、アンモニア、三フッ化窒素、ヒドラジンあるいはジメチルヒドラジンは窒素、アルゴンやヘリウム等の不活性ガスで希釈して使用することができる。

【0016】これらのガスを基板面に供給するためにはガスセルを使用することができ、さらに良質な窒化ガリウム系半導体薄膜を作製するために該ガスセルを所定の温度に加熱して窒素を含有する化合物を加熱して基板表面に供給することがより好ましいものとなる。該ガスセルには加熱を効率的に行うために、アルミナ、シリカ、ボロンナイトライド、炭化ケイ素等の耐食性の優れた材料を繊維状、フレーク状、破碎状、粒状としたものをガスセルに充填したり、さらにはそれらを多孔質状にして該ガスセルに設置してガス状化合物との接触面積を大きくすることにより加熱効率を上げることが好ましいものとなる。

【0017】これらのガスの供給方法としては該セルに至る配管の途中にバルブや流量制御装置、圧力制御装置を接続することによりこれらのガスの混合比や供給量の制御、供給の開始・停止を行うことをできるようにしたものを用いることが好ましい。また、窒素をプラズマガスセルを用いて活性化して基板面に供給することも可能である。

【0018】ガス状化合物の基板面への供給量は固体ソースより大きくすることが好ましい。ガス状化合物の供給量が固体ソースの供給量より小さくなると生成する半導体薄膜からの、ガス状化合物から供給される元素の抜けが大きくなるため、良好な半導体薄膜を得ることが困難になる。したがって、該ガス状化合物の供給量は固体ソースより $10$ 倍以上が好ましく、さらに好ましくは $100$ 倍以上、特に好ましくは $1000$ 倍以上にすることである。

【0019】本発明の固体ソースとは、 $\text{III}$ 族元素としては $\text{III}$ 族元素の金属の単体や合金、あるいは金属塩を用いることができる。 $\text{III}$ 族元素とは、 $\text{Al}$ 、 $\text{G}$

5

a、B、Inから選ばれる少なくとも一種の元素のことである。また、本発明の窒化ガリウム系半導体薄膜を作製するときに不純物をドーピングして、キャリア密度制御、p型、i型あるいはn型の導電型制御を行うこともできる。p型またはi型の窒化ガリウム系半導体薄膜を得るためにドーピングする不純物の例としてはMg、Ca、Sr、Zn、Be、Cd、HgやLi等があり、n型窒化ガリウム系半導体薄膜を得るためにドーピングする不純物としてはSi、Ge、C、Sn、S、Se、Te等がある。これらのドーパントの種類とドーピング量を

【0020】本発明におけるCBE法による窒化ガリウム系半導体薄膜を作製する上で、III族元素と窒素を含有する化合物を同時に基板面に供給したり、III族元素と窒素を含有する化合物を交互に基板面に供給したり、あるいは該薄膜成長時に成長中断して該薄膜の結晶化を促進したりする方法を行うこともできる。とくに、RHEEDパターンを観察してストリークが見えることを確認しながら膜成長を行うことは好ましいものである。

【0021】以下、一例としてアンモニアを用いるCBE法による窒化ガリウム系半導体積層構造からなる窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法について説明するが、とくにこれに限定されるものではない。装置としては、図1に示すような真空容器1内に、蒸発用ルツボ

【0022】蒸発用ルツボ2にはGa金属を入れ、基板面において $10^{13} \sim 10^{19} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ になる温度に加熱した。アンモニアの導入にはガスセル5を用い、基板7に直接吹き付けるようにした。導入量は基板表面において $10^{16} \sim 10^{20} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ になるように供給した。蒸発用ルツボ3にはIn、Al、As、Sb等を入れ、所定の組成の混晶系の化合物半導体になるように温度および時間を制御して成膜を行なう。蒸発用ルツボ4にはMg、Ca、Sr、Zn、Be、Sb、Si、Ge、C、Sn、Hg、Li、P等を入れ、所定の供給量になるように温度および供給時間を制御することによりドーピングを行なう。

【0023】基板7には、オフ角が0.8度以下のサファイアR面を用い、200～900℃に加熱した。まず、基板7を真空容器1内で900℃で加熱した後、所定の成長温度に設定し0.1～10オングストローム/secの成長速度で0.05～2μmの厚みの窒化ガリウム系半導体層を作製した。続いて、該単結晶窒化ガリウム系半導体層の上にGaのシャッターと同時にMgの

6

シャッターを開けて、100～10000オングストロームのMgをドーピングした窒化ガリウム系半導体層を形成し、窒化ガリウム系半導体積層構造を作製した。

【0024】について、該積層薄膜にリソグラフィプロセスを行うことにより、素子の形状を設定するとともに電流を注入するための電極を設ける。リソグラフィプロセスは通常のフォトリソ材料を用いるプロセスで行うことができ、エッチング法としてはドライエッチング法を行うことができる。ドライエッチング法としては、通常の方法を用いることができ、イオンミリング、ECREッチング、反応性イオンエッチング、イオンビームアシストエッチング、集束イオンビームエッチングを用いることができる。とくに本発明においては窒化ガリウム系半導体積層薄膜の全体膜厚が小さいためにこれらのドライエッチング法が効率的に適用できるのも特長の一つである。電流を注入するための電極としては、AlやInの金属、酸化スズ、酸化インジウム、酸化スズ-酸化インジウム、酸化亜鉛、縮退したZnSe等を用いることができ、MBE法、真空蒸着法、電子ビーム蒸着法やスパッタ法等により作製することができる。

【0025】この方法で得られた素子をダイシングソー等で切断し、ワイヤーボンダーにより金線を用いて配線を行った。この素子の電極に20Vの電圧を印加して15mAの電流を注入することにより、25mcdの青色発光が観測された。

【0026】

【実施例】以下、実施例によりさらに詳細に説明する。

【0027】

【実施例 1】アンモニアを用いたCBE法により、窒化ガリウム系半導体薄膜を作製した例について説明する。図1に示すような真空容器1内に、蒸発用ルツボ2、3および4、ガスセル5、および基板加熱ホルダー6を備えた結晶成長装置を用いた。

【0028】蒸発用ルツボ2にはGa金属を入れて1020℃に加熱した。ガスとしてはアンモニアを使用し、直接に基板7に吹き付けるようにして5cc/minの速度で供給した。基板7としては、オフ角が0.5度のサファイアR面を使用した。真空容器内の圧力は、成膜時において $1 \times 10^{-6}$  Torrであった。

【0029】まず、基板6を800℃の温度に保持し成膜を行う。成膜はアンモニアをガスセル5から供給しながらGaのルツボのシャッターを開けて行い、1.2オングストローム/secの成膜速度で膜厚7000オングストロームの窒化ガリウム系半導体薄膜を作製した。この膜の表面をSEM観察したところ、図2に示すようにきわめて平坦な表面モフォロジーを有していることがわかった。また、RHEEDを用いて、この膜の表面を観察したところ、図3に示すようにストリーク状のパターンであることがわかり、結晶性も優れていることがわかった。さらに、この膜のカソードルミネッセンス(C

L) スペクトルを電子ビーム加速電圧6 kV、試料温度77 Kで測定したところ、フォトンエネルギー約3.5 eVの鋭い発光を観測した。

#### 【0030】

【比較例 1】実施例1において、オフ角が1.0度のサファイアR面基板を使用する以外は同様の方法を用いて、窒化ガリウム半導体薄膜を作製した。この薄膜の表面をSEM観察したところ、図4に示すように多数のピットが存在する表面モフォロジーを示し、平坦性が悪いことがわかった。また、この膜のCLスペクトルを電子ビーム加速電圧6 kV、試料温度77 Kで測定したところ、フォトンエネルギー約3.5 eVの発光を観測した

#### \*【0031】

【実施例2、3、4】実施例1において、オフ角が0.1度、0.3度、0.8度のサファイアR面基板を使用する以外は同様の方法を用いて、窒化ガリウム半導体薄膜を作製した。実施例1～4および比較例1について、X線回折によるGa<sub>2</sub>N [1, 1, -2, 0] ピークの半値幅から結晶性を、SEM像(図5、6、7)から平坦性を判断した。この結果を表1にまとめたが、基板のオフ角が小さい方が結晶性が向上し、平坦性も良くなっていることがわかる。

#### 【0032】

#### 【表1】

試料	基板オフ角、 度	ピーク半値幅 度	平坦性
実施例2	0.1	0.23	◎
実施例3	0.3	0.26	◎
実施例1	0.5	0.28	◎
実施例4	0.8	0.33	○
比較例1	1.0	0.54	×

#### 【0033】

【実施例 5】アンモニアを用いたCBE法により、窒化ガリウム系半導体発光素子を作製した例について説明する。図1に示すような真空容器1内に、蒸発用ルツボ2、3および4、ガスセル5、および基板加熱ホルダー6を備えた結晶成長装置を用いた。

【0034】蒸発用ルツボ2にはGa金属を入れて1020℃に加熱し、蒸発用ルツボ3にはIn金属を入れて660℃に加熱し、蒸発用ルツボ4にはMg金属を入れて280℃に加熱した。ガスとしてはアンモニアを使用し、ガスの導入には内部にアルミナファイバーを充填したガスセル5を使用し、370℃に加熱してガスを直接に基板7に吹き付けるようにして5 cc/minの速度で供給した。

【0035】基板7としては、オフ角が0.5度のサファイアR面を使用する。真空容器内の圧力は、成膜時において $1 \times 10^{-6}$  Torrであった。まず、基板6を900℃で30分間加熱し、ついで750℃の温度に保持し成膜を行う。成膜はアンモニアをガスセル5から供給

※しながらGaのルツボのシャッターを開けて行い、1.2オングストローム/secの成膜速度で5000オングストロームの窒化ガリウム系半導体層を作製し、さらにその上にGaのシャッターと同時にMgのシャッターを開けて、600オングストロームのMgをドーピングしたi型窒化ガリウム系半導体層を形成することによって窒化ガリウム系半導体積層構造を作製した。

【0036】ついで、該積層薄膜にリソグラフィプロセスを行うことにより、電流を注入するための電極を設ける。リソグラフィプロセスは通常のフォトリソグラフィ材料を用いるプロセスで行うことができ、エッチング法として、イオンミリングを行うことによって、電流を注入する電極を形成するため窓を作製した。ついで、Al電極を真空蒸着法によって形成し、図8に示すような構造の発光素子を作製した。

【0037】この方法で得られた素子をダイシングソーで切断し、ワイヤーボンダーにより金線を用いて配線を行った。この素子の電極に20Vの電圧を印加して15 mAの電流を注入すると、25 mcdの青色発光が観測

された。

【0038】

【実施例 6】アンモニアを用いたCBE法により、窒化ガリウム系半導体発光素子を作製した例について説明する。図1に示すような真空容器1内に、蒸発用ルツボ2、3および4、ガスセル5、および基板加熱ホルダー6を備えた結晶成長装置を用いた。

【0039】蒸発用ルツボ2にはGa金属を入れて1020℃に加熱し、蒸発用ルツボ3にはIn金属を入れて660℃に加熱し、蒸発用ルツボ4にはMg金属を入れて280℃に加熱した。ガスとしてはアンモニアを使用し、ガスの導入には内部にアルミナファイバーを充填したガスセル5を使用し、370℃に加熱してガスを直接に基板7に吹き付けるようにして5cc/minの速度で供給した。

【0040】基板7としては、オフ角が0.5度のサファイアR面を使用する。真空容器内の圧力は、成膜時において $1 \times 10^{-6}$  Torrであった。まず、基板6を900℃で30分間加熱し、ついで750℃の温度に保持し成膜を行う。成膜はアンモニアをガスセル5から供給しながらGaとInのルツボのシャッターを開けて行い、1.2オングストローム/secの成膜速度で膜厚が5000オングストロームの $Ga_{1-x}In_xN$  ( $x=0.12$ )の組成を有する窒化ガリウム系半導体層を作製し、さらにその上にGaのシャッターと同時にMgのシャッターを開けて、600オングストロームのMgをドーピングした $Ga_{1-x}In_xN$  ( $x=0.12$ )の組成のp型窒化ガリウム系半導体層を形成することによって窒化ガリウム系半導体積層構造を作製した。

【0041】ついで、該積層薄膜にリソグラフィープロセスを行うことにより、電流を注入するための電極を設ける。リソグラフィープロセスは通常のフォトレジスト材料を用いるプロセスで行うことができ、エッチング法として、イオンミリングを行うことによって、電流を注入する電極を形成するため窓を作製した。ついで、Al電極を真空蒸着法によって形成し、図9に示すような構造の発光素子を作製した。

【0042】この方法で得られた素子をダイシングソーで切断し、ワイヤーボンダーにより金線を用いて配線を行った。この素子の電極に20Vの電圧を印加して12mAの電流を注入すると、12mcdの緑色発光が観測された。

【0043】

【実施例 7】アンモニアを用いたCBE法により、窒化ガリウム系半導体受光素子を作製した例について説明する。図1に示すような真空容器1内に、蒸発用ルツボ2、3および4、ガスセル5、および基板加熱ホルダー6を備えた結晶成長装置を用いた。

【0044】蒸発用ルツボ2にはGa金属を入れ、1020℃に加熱し、蒸発用ルツボ4にはMgを入れて28

0℃に加熱した。ガスとしてはアンモニアを使用し、ガスの導入には内部にアルミナファイバーを充填したガスセル5を使用し、370℃に加熱してガスを直接に基板7に吹き付けるようにして5cc/minの速度で供給した。

【0045】基板7としては、オフ角が0.5度のサファイアR面を使用する。真空容器内の圧力は、成膜時において $1 \times 10^{-6}$  Torrであった。まず、基板7を900℃で30分間加熱し、ついで750℃の温度に保持し成膜を行う。成膜はアンモニアをガスセル5から供給しながらGaのルツボのシャッターを開けて行い、Gaのビーム強度を $5.51 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ に設定して、1.2オングストローム/secの成膜速度で膜厚0.5μmのn型窒化ガリウム半導体薄膜を作製する。続いて、GaとMgのルツボのシャッターを同時に開けて、0.5μmの厚みのMgドーピングされたi型窒化ガリウム半導体層を形成する。さらに、Mgのルツボの温度を350℃に上げて、0.3μmの厚みのMgをドーピングしたp型窒化ガリウム半導体層を積層することによって窒化ガリウム系半導体積層構造を作製した。

【0046】ついで、該積層薄膜にリソグラフィープロセスを行うことにより、電流を取り出すための電極を設ける。リソグラフィープロセスは通常のフォトレジスト材料を用いるプロセスで行うことができ、エッチング法として、イオンミリングを行った。ついで、Al電極を真空蒸着法によって形成し、図10に示すような構造の受光素子を作製した。

【0047】この方法で得られた素子をダイシングソーで切断し、ワイヤーボンダーにより金線を用いて配線を行った。本発明のpin型フォトダイオードの素子構造で、 $100 \text{ W}/\text{m}^2$ の放射照度をもつ360nmの波長の光を照射し、該素子に逆バイアス電圧を20V印加したところ、光電流として4mAの出力が得られた。

【0048】

【発明の効果】本発明による窒化ガリウム系半導体積層薄膜は、サファイアR面基板上に1μm以下という窒化ガリウム系半導体の膜厚において、表面の平坦性がよく、かつ結晶性も良好である。そのため、青色発光素子や受光素子あるいは高温で動作するトランジスタ用の半導体薄膜として用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の薄膜作製に用いた結晶装置の概略図である。

【図2】実施例1で作製した窒化ガリウム半導体薄膜のSEM像である。

【図3】実施例1で作製した窒化ガリウム半導体薄膜のRHEED像である。

【図4】比較例1で作製した窒化ガリウム半導体薄膜のSEM像である。

【図5】実施例2で作製した窒化ガリウム半導体薄膜の

SEM像である。

【図6】実施例3で作製した窒化ガリウム半導体薄膜のSEM像である。

【図7】実施例4で作製した窒化ガリウム半導体薄膜のSEM像である。

【図8】実施例5で作製した窒化ガリウム半導体発光素子の断面構造を示す図である。

【図9】実施例6で作製した窒化ガリウム系半導体発光素子の断面構造を示す図である。

【図10】実施例7で作製した窒化ガリウム半導体受光素子の断面構造を示す図である。

【図11】 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ 系発光素子の断面構造を示す図である。

【図12】 $n\text{-GaN}/n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$  ( $x \geq y$ )系発光素子の断面構造を示す図である。

【図13】 $n\text{-GaN}/p\text{-GaN}/n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ 系発光素子の断面構造を示す図である。

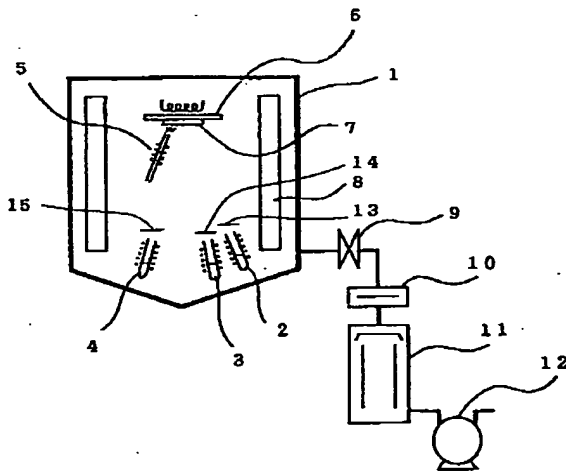
【図14】 $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/n\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}/p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$  ( $x \geq y$ )系発光素子の断面構造を示す図である。

【符号の説明】

1 真空容器

- 2 蒸発用ルツボ
- 3 蒸発用ルツボ
- 4 蒸発用ルツボ
- 5 ガスセル
- 6 基板加熱ホルダー
- 7 基板
- 8 クライオパネル
- 9 バルブ
- 10 コールドトラップ
- 11 油拡散ポンプ
- 12 油回転ポンプ
- 13 シャッター
- 14 シャッター
- 15 シャッター
- 16 サファイアR面基板
- 17  $n\text{-GaN}$ 層
- 18  $i\text{-GaN}$ 層
- 19 Al電極
- 20  $n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 層
- 21  $p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 層
- 22  $p\text{-GaN}$ 層
- 23  $p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 層
- 24  $p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ 層 ( $x \geq y$ )
- 25  $n\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ 層 ( $x \geq y$ )

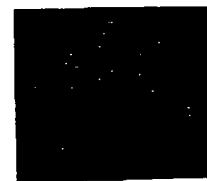
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】



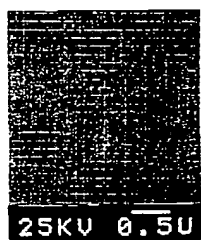
【図5】



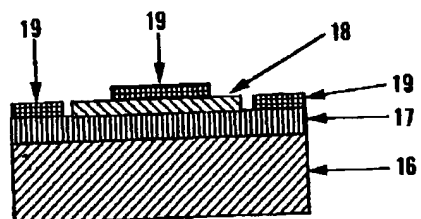
【図6】



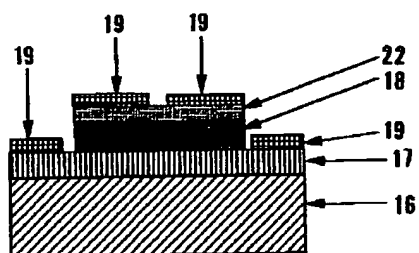
【図7】



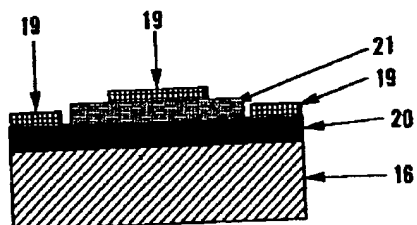
【図8】



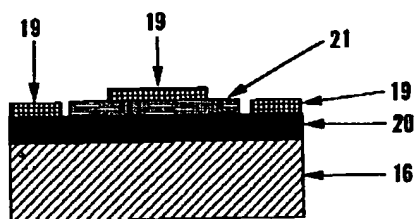
【図10】



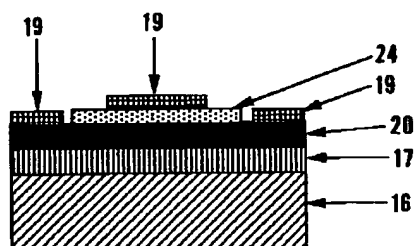
【図9】



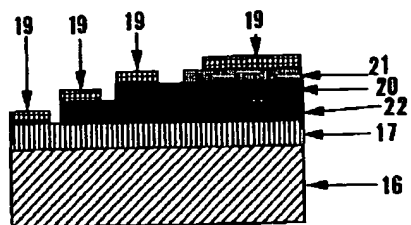
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

